

Allgemeine Elektricitäts-Gesellschaft, Berlin.

Schutzvorrichtungen gegen schädliche Ueberspannungen.

Vortrag,

gehalten in der Sitzung des Elektro-technischen Vereins
am 26. März 1901

von

Dr. Gustav Benischke.

Die Gefahren, welche den elektrischen Anlagen durch schädliche Ueberspannungen drohen, haben zweierlei Ursache: sie entstehen entweder aus den elektrischen Ladungen der Atmosphäre oder durch den betreffenden Strom selbst. Von den atmosphärischen Ladungen interessieren uns nur diejenigen, welche eine Potentialdifferenz gegen-

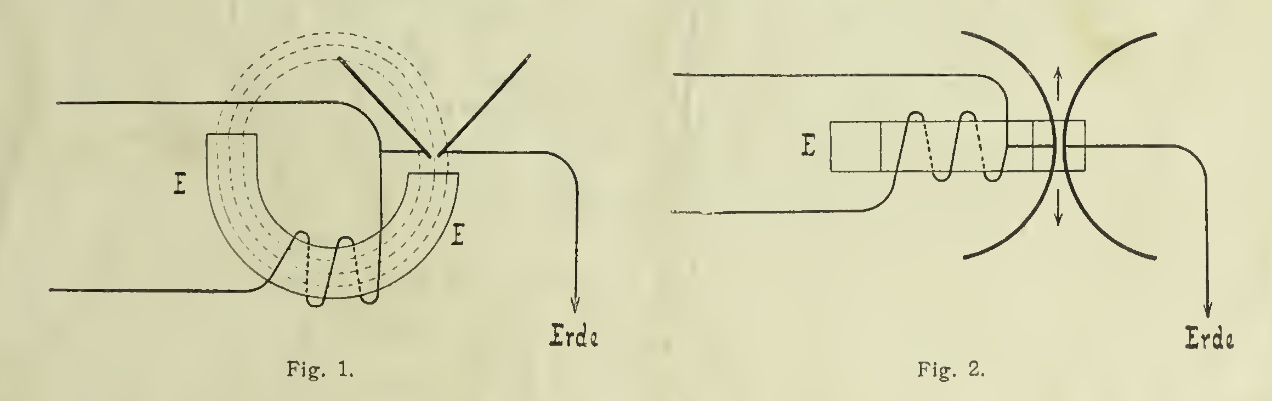


Fig. 1. Fig. 2.

über der Erde haben, denn nur diese suchen eventuell nach Durchbrechung der Isolation einer Maschine oder eines Apparates einen Weg zur Erde. Diese Uebergänge können in dreifacher Form stattfinden: entweder durch eine plötzliche Entladung in Form eines Blitzes, wobei in kurzer Zeit sehr beträchtliche Energiemengen frei werden, oder in Form von einzelnen, oft rasch oder in grösseren Zwischenräumen auf einander folgenden Funken, oder drittens in sogenannten dunklen Entladungen; darum so genannt, weil sie meistens gar

X. 56.

nicht oder nur bei Dunkelheit in Form eines Büschel- oder Glimmlichtes sichtbar sind, wovon gewisse Erscheinungen unter dem Namen Elmsfeuer bekannt sind.

Von diesen drei Entladungsformen kommt die erste, das sind die direkten Blitzschläge, für die Elektrotechnik wenig in Betracht, insofern als es sich darum handelt, Schutzmassregeln dagegen zu treffen. Direkte Blitzschläge in elektrische Oberleitungen — ich schliesse die Gebäude aus — gehören zu den grössten Seltenheiten, und es ist unmöglich, sie durch irgend eine Form von Blitzschutzvorrichtungen so zur Erde abzuleiten,



Fig. 3.

dass der elektrischen Anlage kein Schaden erwächst. Wenn ein direkter Blitzschlag in eine Oberleitung geht, so zerstört er in der Regel die zunächst liegenden Porzellanisolatoren und geht über die Leitungsträger zur Erde. Ist eine Blitzschutzvorrichtung in der Nähe, so zerstört er auch diese. Man muss solche Fälle als Elementarereignisse betrachten, die so selten sind, dass es sich nicht lohnt, dagegen Schutzmassregeln treffen zu wollen, da sie doch nicht ausreichend sind.

Viel schlimmer sind die Entladungen der zweiten Art. Diese, oft nur durch kleine Funken bemerkbar, haben auch wieder zwei Ursachen. Sie entstehen entweder dadurch, dass die atmosphärischen Ladungen, das sind die elektrischen Ladungen der ein-

zelnen Wasserbläschen und Staubteilchen, von den Leitungsdrähten aus ihrer nächsten Umgebung aufgenommen werden. Infolgedessen laden sich diese mit einem Potential, das sich an der nächsten schwachen Stelle der betreffenden Anlage mit dem Potential der Erde auszugleichen strebt. Oder zweitens, es sind induzierte Ladungen, die entweder durch aufziehende Gewitterwolken oder durch Verschiebung des elektrischen Gleichgewichtes in den über den Drähten befindlichen Wolken induziert werden, oder es sind sogenannte Rückschläge, das sind jene induzierten Ladungen, die dadurch entstehen, dass in der Nähe



Fig. 4.

der betreffenden Leitung ein Blitzschlag zur Erde geht oder eine Entladung zwischen zwei Wolken über der betreffenden Leitung stattfindet. Diese Erscheinungen sind bekannt, aber es ist nicht uninteressant, hierbei einen modernen Vergleich anzustellen. Eine derartige Entladung zwischen zwei Wolken und der darauf folgende sogenannte Rückschlag in einer unter günstigen Verhältnissen darunter befindlichen elektrischen Leitung ist eine Funkentelegraphie grossen Stils. Die Wolken sind der Geber und die elektrische Leitung, die sich darunter befindet und allenfalls entsprechend abgestimmt ist, bildet gewissermassen den Empfänger; nur ist diese Telegraphie hier wenig erfreulich, da sie ohne Schutzvorrichtung eine Schädigung der betreffenden Anlage zur Folge hat.

Diese Art von Entladungen kommen im Sommer und in gewissen Gegenden so häufig vor, dass oberirdische Leitungsnetze oft den ganzen Tag und auch noch während der Nacht beständig unter einer gewissen Spannung stehen. Es ist deshalb fortwährend Neigung zum Durchbrechen irgend welcher Isolation vorhanden, wenn nicht geeignete Vorrichtungen da sind. In gewitterreichen Gegenden kann man beobachten, dass solche Oberleitungen, besonders wenn sie über waldfreie Anhöhen gehen, die besten und sichersten Gewitteranzeiger sind, oft auf Stunden im voraus. Gegen diese infolge ihrer Häufigkeit besonders gefährlichen Entladungen haben wir uns hauptsächlich zu schützen, und das geschieht durch die bekannten Blitzschutzvorrichtungen.

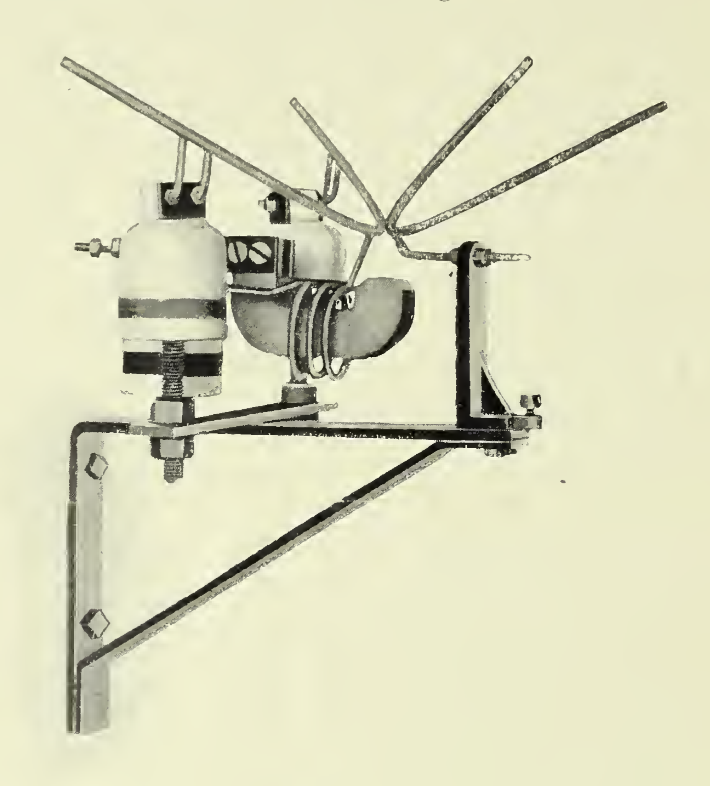


Fig. 5.

Es sind eine Reihe von Konstruktionen im Laufe der Zeit bekannt geworden, und sie haben wenigstens bei gewöhnlichen Spannungen ihren Zweck mehr oder weniger gut erfüllt. Heikler ist diese Sache erst geworden mit der Einführung höherer Betriebsspannungen.

Die Aufgabe, eine geeignete Schutzvorrichtung gegen die vorhin geschilderten Entladungen anzubringen, ist dadurch vollständig gelöst, dass man der betreffenden Oberleitung eine kurze Funkenstrecke gegenüberstellt und von hier aus der atmosphärischen Ladung einen bequemeren Weg zur Erde bietet, als sie ihn über einen Apparat oder eine Maschine finden kann. Man hat also in erster Linie zu berücksichtigen, dass der Widerstand der Erdleitung möglichst gering ist und dass insbesondere keine Selbstinduktion darin vorkommt; denn es steht fest, dass die meisten atmosphärischen Entladungen oscillatorischer Natur sind, wenn auch nicht von so hoher Schwingungszahl, als man früher anzunehmen geneigt war. Man kann aber andererseits die Eigenschaft der Selbstinduktion dazu benutzen, um den Weg nach den zu schützenden Teilen zu verlegen, indem man zwischen diesen und der Funkenstrecke eine kleine Selbstinduktion einschaltet. Dadurch wird eine grössere Sicherheit geboten, dass die Entladung den induktionsfreien Weg zur Erde einschlägt. Je kürzer

man die Funkenstrecke wählt, desto empfindlicher ist die Blitzschutzvorrichtung. Denn es ist wünschenswert, alle Ladungen, die den Maschinen und Apparaten gefährlich werden könnten, zur Erde abzuleiten. Das sind bekannte Dinge.

Hier möchte ich einen Augenblick auf die vorhin erwähnten dunklen Entladungen zu sprechen kommen. Diese werden in der Regel nicht genug beachtet, weil sie nicht augenfällig werden. Sie sind aber eine Art schleichender Krankheit gegenüber den akuten Funken-Entladungen, denn sie bringen es fertig, sich selbst durch Isoliermaterialien durchzufressen, wenn sie längere Zeit wirken können. Sie erzeugen allmählich enge Kanäle, bis es endlich zu einem richtigen Kurzschluss kommt. Ich hatte Gelegenheit, die Wirkungen dieser dunklen Entladungen an einem sehr charakteristischen Beispiel zu sehen. Zum Zwecke der Prüfung wurden in eine 10 mm starke Platte aus Isoliermaterial 2 Elektroden in etwa 10 cm Entfernung eingebohrt und eine Spannung von 10000 Volt angeschlossen. Nach einigen Stunden flog ein Teil der Platte zwischen beiden Elektroden mit heftigem Knall bis an die Decke des Zimmers. Es zeigte sich, dass in der Platte zwischen den beiden Elektroden ein ganz feiner Kanal mit vielen Krümmungen entstanden war, wie wenn etwa ein feiner Wurm sich durchgebohrt hätte. Von diesem Kanal aus gingen nach allen Seiten feine Verästelungen, sodass das Ganze ein Bild bot ähnlich den bekannten Lichtenberg'schen Figuren auf einer Harzplatte. In dem Kanal entstand endlich ein Kurzschluss, und die dabei entstehenden Gase

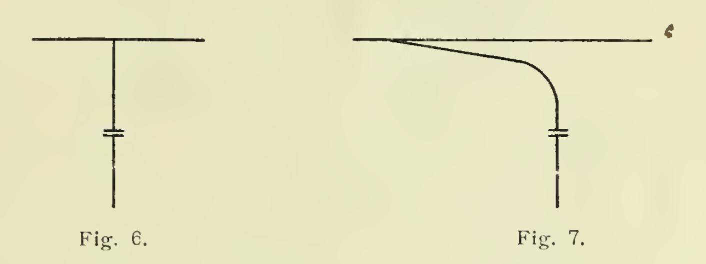


Fig. 6. Fig. 7.

sprengten die Platte unter lautem Knall. Es giebt zum Glück Materialien, die diesen dunklen Entladungen anscheinend widerstehen, z. B. Glimmer und Stabilit. Sie sind aber meistens die Ursache, wenn in Hochspannungs-Maschinen oder Transformatoren kurgeschlossene Windungen auftreten, die dann durch allmähliche Verkohlung zu einem Kurzschluss führen. Es wäre demnach wünschenswert, wenn man die dunklen Entladungen auch durch Blitzschutzvorrichtungen beseitigen könnte. Um das zu erreichen, müsste man die Funkenstrecke sehr kurz machen. Dabei wachsen aber die Schwierigkeiten beträchtlich; denn wenn an den Blitzschutzvorrichtungen zweier verschiedener Pole gleichzeitig Entladungen stattfinden, so folgt ihnen ein Strom, der das betreffende Netz über die Erdleitungen kurzschliesst. Nun handelt es sich darum, diesen Kurzschlussstrom auszulöschen, und zwar möglichst rasch. Die Kurzschlüsse treten naturgemäss um so öfter und um so heftiger auf, je enger die Funkenstrecke ist. Infolgedessen muss man darauf verzichten, die Blitzschutzvorrichtungen so empfindlich zu machen, dass sie auch die dunklen Entladungen beseitigen, sondern muss, wenn es nötig ist, dafür besondere Vorrichtungen anbringen. Immerhin aber ist es wünschenswert, auch für die Funkenentladungen möglichst kurze Funkenstrecken zu haben und die infolgedessen heftiger auftretenden Kurzschlüsse möglichst rasch zu unterbrechen.

Von diesen Gesichtspunkten ausgehend habe ich eine Blitzschutzvorrichtung konstruiert, deren Entstehungsgeschichte ich im folgenden kurz angeben will. Im Jahre 1896 wurden von der Allgemeinen Elektricitäts-Gesellschaft Versuche gemacht mit einer Maschine, die für 15000 Volt gewickelt war, darunter auch solche über die Auslöschung von Lichtbögen an bügelförmigen Hörnern, wie sie von der Thomson'schen Blitzschutz-

vorrichtung her bekannt sind. Sie waren aber nicht wie bei den letzteren plattenförmig, sondern aus Drähten gebogen, ungefähr von derselben Form, wie sie später durch einen Vortrag des Herrn Görges*) bekannt wurden, aus welchem Vortrage hervorgeht, dass Herr Oelschläger unabhängig von mir zu derselben Anordnung gekommen war, deren Vorteil gegenüber der Thomson'schen Blitzschutzvorrichtung darin besteht, dass dabei durch die elektro-dynamische Eigenwirkung der Stromschleife der Auftrieb des Lichtbogens, der durch die heisse Luft verursacht wird, eine wesentliche Verstärkung erfährt. Diese Versuche mit der genannten Maschine wurden anlässlich des Verbandstages deutscher Elektrotechniker im Juni des Jahres 1896 mehreren geladenen Herren im Laboratorium der Allgemeinen Elektricitäts-Gesellschaft vorgeführt. Die elektro-dynamische Schleifenwirkung wird um so stärker, je mehr man die Hörner in ihren unteren Teilen parallel ausbildet. Der an zwei solchen Hörnern entstehende Lichtbogen verlöscht immer mit Sicherheit, wenn die Stromstärke gross genug ist. Bei zu kleiner Stromstärke ist sowohl der aufsteigende warme Luftstrom, als auch die elektro-dynamische Schleifenwirkung zu schwach, als dass der Lichtbogen mit Sicherheit nach oben getrieben würde. Aber auch bei genügend starkem Strome braucht es mehrere Sekunden, bis der Lichtbogen nach oben gewandert ist und hier

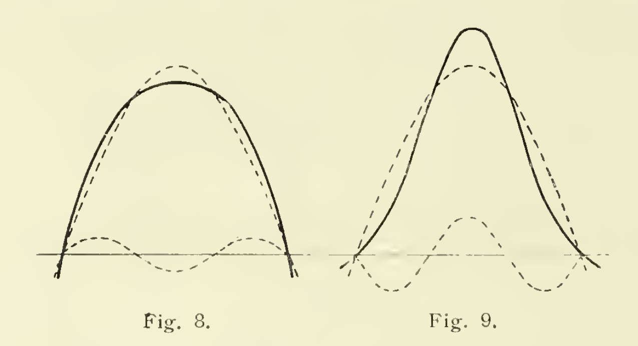


Fig. 8. Fig. 9.

verlöscht. Während dieser Zeit steht das Netz unter Kurzschluss, und dieser ist namentlich sehr heftig, so lange sich der Lichtbogen noch im engen Teile der Funkenstrecke befindet. Die Netzspannung fällt während dieser Zeit beträchlich ab. Dauert dies zu lange, so kann es vorkommen, dass die angeschlossenen Motoren ausser Tritt fallen. Es war daher mein Bestreben, eine Blitzschutzvorrichtung womöglich unter Verwendung der bekannten Hörner zu konstruieren, bei welcher der Lichtbogen möglichst bald aus dem engsten Teile der Funkenstrecke fortgeschafft wird, damit wenigstens die Heftigkeit des anfänglichen Kurzschlusses nur kurze Zeit andauert. Dieser Umstand muss um so mehr berücksichtigt werden, als ja bei offenen im Freien aufgestellten Blitzschutzvorrichtungen Kurzschlüsse nicht nur nach atmosphärischen Entladungen eintreten, sondern auch durch Insekten, Regentropfen und dergl., insbesondere aber in schneereichen Gegenden durch den schmelzenden Schnee hervorgerufen werden. Mechanische Vorrichtungen zur Zerreissung eines Hochspannungs-Lichtbogens sind nach den Erfahrungen, die man schon früher damit gemacht hat, von vornherein ausgeschlossen. Sie lassen sich nur bei niedrigen Spannungen mit Erfolg anwenden. Es blieb daher nur das magnetische Gebläse, und dieses habe ich in folgender Weise angewendet:

Ein aus Blechen zusammengesetzter Eisenkörper E (Fig. 1 u. 2) trägt eine oder mehrere Windungen, welche in die zu schützende Leitung eingeschaltet werden. Der Eisenkörper wird also vom normalen Betriebsstrom magnetisiert, und es entsteht ein magnetisches Feld, das durch die gestrichelten Linien angedeutet ist. Der zur Erde gehende Kurzschlussstrom kann dazu nicht verwendet werden, weil sonst die Erdleitung eine beträchtliche Selbst-

*) E. T. Z. 1897, S. 214.

induktion enthalten würde, was aus bekannten Gründen unzulässig ist. Ueber dem einen Pol dieses Magnetes befindet sich die Funkenstrecke, welche aus zwei symmetrisch ausgebildeten Metallbügeln besteht. Der eine ist unmittelbar mit der zu schützenden Leitung verbunden, an dem anderen ist die Erdleitung angeschlossen. Sobald hier ein Lichtbogen entsteht, wird er von dem magnetischen Gebläse senkrecht zu den Kraftlinien des magnetischen Feldes weggetrieben. Daraus ergiebt sich die hier gewählte Anordnung der Bügel, nämlich so, dass der Lichtbogen nach einer der beiden Seiten in der Richtung der Pfeile fortgetrieben werden kann. Ist er aus dem Bereiche des magnetischen Feldes gekommen, so hat er bereits eine gewisse Länge erreicht, und er entwickelt sich nun infolge der aufsteigenden heissen Luft hauptsächlich nach oben, bis er verlischt. Deshalb sind die Bügel nach aufwärts gebogen. Die Wirkung ist dieselbe, ob es sich um Gleichstrom oder Wechselstrom handelt. Bei Wechselstrom ändert sich zwar beständig die Richtung des Stromes, damit aber auch die Richtung des magnetischen Feldes, und infolgedessen ist die Bewegungsrichtung des Lichtbogens in jedem Augenblick dieselbe. Nach welcher Seite der Lichtbogen getrieben wird, hängt lediglich von dem Wickelungssinn des magnetischen Gebläses ab, d. h. von dem Phasenverhältnis zwischen dem Strom in der Funkenstrecke und dem magnetischen Felde. Da es schwierig ist, bei der Fabrikation ohne besondere Probe, welche die Vorrichtung wesentlich verteuern würde, einen bestimmten Wickelungssinn einzuhalten, so sind die Bügel nach beiden Seiten symmetrisch ausgebildet, sodass man von dem Phasenverhältnis zwischen Kurzschlussstrom und magnetischem Gebläse unabhängig ist. Um zu zeigen, wie rasch bei dieser Vorrichtung der Lichtbogen ausgelöscht wird, will ich eine solche an das Gleichstromnetz der Berliner Elektricitäts-Werke bei 220 Volt anschliessen. Die Funkenstrecke, die jetzt auf etwa 6 mm eingestellt ist, wird durch einen dünnen Silberdraht überbrückt. Sobald dieser Schalthebel eingeschaltet wird, findet ein vollständiger Kurzschluss des Netzes über diese Funkenstrecke statt. Sie sehen, wie rasch der Kurzschluss-Lichtbogen mit einem lauten Knall ausgelöscht wird. Das Funktionieren bei Hochspannung und genügender Stromstärke hier vorzuführen ist natürlich nicht möglich. Die Figuren 3 und 4 geben aber ein Bild davon, wie sich der Lichtbogen verhält. Fig. 3 ist eine Daueraufnahme des Kurzschlusses von 60 Kilowatt bei 3000 Volt Spannung. Man sieht, wie der Lichtbogen aus der engsten Stelle an den Bügeln nach seitwärts und oben getrieben wurde. Längs der Bügel sieht man mehrere besonders helle Stellen. Diese entsprechen den einzelnen Polwechseln. Fig. 4 zeigt eine Momentaufnahme knapp vor dem Verlöschen des Lichtbogens bei 60 Kilowatt und 6000 Volt. Man sieht, dass sich der Lichtbogen bei höheren Spannungen viel höher ausbildet. Seine Höhe betrug in diesem Falle ungefähr 1 m.

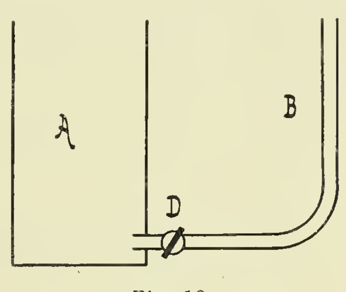


Fig. 10.

Die komplette Blitzschutzvorrichtung, wie sie hier (Fig. 5) steht, sieht komplizierter aus, als manche andere Systeme. Das ist aber bloss scheinbar. Denn sie enthält gleichzeitig auch eine Drosselspule in sich, d. i. das magnetische Gebläse. Man hat infolgedessen bei der Installation darauf zu achten, dass die Wickelung des magnetischen Gebläses zwischen der Stromquelle und der Funkenstrecke liegt. Das ist auch darum notwendig, weil anders bei eintretendem Kurzschluss das magnetische Gebläse stromlos würde. Auf den Zweck einer zwischen der Funkenstrecke und dem zu schützenden Teile eingeschalteten Selbstinduktion habe ich schon eingangs hingewiesen. Man nimmt allerdings an, dass die Wickelung einer Maschine oder eines Transformators selbst schon mehr als genug Selbstinduktion enthält. Das gilt aber nicht für die Zuführung der Leitungen zu den Maschinen und ebenso nicht für etwaige Erdkabel und die meisten Schaltapparate. In diesen Fällen ist eine zwischengeschaltete Selbstinduktion unbedingt erforderlich. Diese mach bei den meisten

anderen Blitzschutzvorrichtungen eine besondere Installation notwendig, während sie hier so vollständig fertig gestellt ist, dass nur der Anschluss der Leitungsdrähte und der Erdleitung erforderlich ist; sie ist also in diesen Fällen einfacher und billiger als andere Systeme.

Bei dieser Gelegenheit möchte ich auf eine ziemlich verbreitete unrichtige Anschauung darüber, wie eine Blitzschutzvorrichtung angeschlossen werden soll, zu sprechen kommen. Es wird nämlich vorgeschrieben, die Abzweigung von der Freileitung nicht senkrecht, wie Fig. 6, sondern möglichst schräge, wie Fig. 7 vorzunehmen, und zwar so, dass die Spitze des Winkels nach der Seite gerichtet ist, von wo die Ladung kommt. Das kann aber nach meiner Anschauung gar keine Rolle spielen. Denn eine atmosphärische Ladung ist keine abgeschossene Kugel, sondern eine Erscheinung des Aethers. Der wesentlichste Unterschied zwischen den elektrischen und magnetischen Erscheinungen einerseits und den materiellen Körpern andererseits besteht ja gerade darin, dass erstere keine Trägheit oder Beharrungsvermögen haben. Es macht infolgedessen einer elektrischen Entladung nicht die geringste Schwierigkeit, senkrecht von einem Drahte oder einer Platte auszugehen und jeden Augenblick ihre Richtung zu ändern. Dafür liefert ja jede Funkenentladung im Laboratorium den Beweis. Auch die direkten Blitzschläge, wobei sehr grosse elektrische Energiemengen plötzlich frei werden, nehmen ihren Weg keineswegs in geraden Linien oder sanften Krümmungen. Es sind ja bereits viele photographische Aufnahmen gemacht worden, und alle zeigen, dass der Weg einer Funkenentladung oder eines Blitzschlages scharfe Krümmungen und Ecken enthält. Bei den Blitzschutzvorrichtungen handelt es sich übrigens nicht darum, einen direkten Blitzschlag aufzunehmen, weil sie dazu garnicht in der Lage sind, sondern ihre Hauptaufgabe besteht darin, dass sie die meist im Laufe einer gewissen Zeit angesammelten Ladungen der Leitungsdrähte zur Erde abführen, und da ist es vollkommen gleichgiltig, ob die Abzweigung senkrecht oder schief erfolgt.

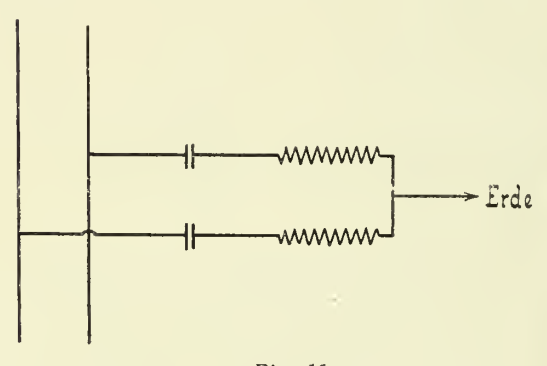


Fig. 11.

Ich habe eingangs erwähnt, dass die schädlichen Ueberspannungen, die in einer Anlage auftreten können, zweifacher Art sind. Ich komme nun zur zweiten Art, nämlich zu denen, die ihre Ursachen in dem Leitungsnetze selbst haben. Sie kommen nur dann vor, wenn der im Netz verkehrende Betriebsstrom eine Kurvenform hat, die von der Sinuslinie abweicht. Und das ist ja bei den meisten elektrischen Anlagen der Fall. Die Abweichungen von der Sinuslinie müssen analytisch durch sogenannte Oberschwingungen dargestellt werden. So enthalten z. B. die Figuren 8 und 9 eine Oberschwingung von dreifacher Periodenzahl, als die Grundschwingung. Es kommen aber sehr häufig Oberschwingungen von 5—9facher Periodenzahl vor. Die Glieder noch höherer Ordnung haben meist schon so geringe Scheitelwerte, dass sie nicht mehr in Betracht kommen. Nun hat bekanntlich jedes Leitungsnetz samt dem, was daran hängt, eine gewisse Selbstinduktion und Kapazität. Besteht zwischen diesen beiden und der Periodenzahl ein gewisses Verhältnis, so treten die bekannten Resonnanzerscheinungen auf, welche mit einer beträchtlichen Spannungserhöhung verbunden sind. Die Grundschwingungen der in der Starkstromtechnik vorkommenden Wechselströme sind zu langsam, um diese Gefahr hervorzurufen. Wenn aber Oberschwingungen von der 5—9fachen Periodenzahl vorhanden sind, so reicht die Kapazität des Leitungsnetzes häufig schon aus, um so starke Resonnanzerscheinungen einzuleiten, dass eine Durchbrechung der Isolation stattfindet. Diese Gefahr braucht keineswegs beständig vorhanden zu sein, denn

Selbstinduktion und Kapazität ändern sich je nach dem, was in der betreffenden Anlage gerade eingeschaltet ist. Ueberdies hängt die Kurvenform des Betriebsstromes sehr von der Belastung der Erzeugermaschinen ab, und infolgedessen sind auch die Scheitelwerte der Oberschwingungen sehr verschieden. Die Gefahr einer schädlichen Resonnanz tritt besonders dann ein, wenn Kabelstrecken mit anhängenden Transformatoren oder Motoren plötzlich eingeschaltet werden. Ich kann mich hier nicht auf lange theoretische Erörterungen einlassen, sondern will dafür ein hydraulisches Modell zeigen, welches diesen Vorgang, wenn auch nicht erklärt, so doch plausibel macht. Das Gefäss *A* (Fig. 10) ist durch einen Schlauch mit dem Rohre *B* verbunden. Die Flüssigkeit in dem Gefässe ist durch den Hahn *D* von dem Rohre abgesperrt. Das Gefäss stellt die Erzeugermaschine, der Hahn *D* gewissermassen den Schalter und was dahinter liegt, das Leitungsnetz vor. Wird der Hahn geöffnet, also die Leitung eingeschaltet, so strömt das Wasser in das Rohr, aber nicht in gleichmässiger Strömung, sondern es führt einige Schwingungen aus und erhebt sich dabei über das Niveau im Gefässe. So steigt auch die Spannung beim Einschalten eines Leitungsnetzes auf einen höheren Wert, als die Klemmenspannung der Maschine beträgt, wenn die Bedingungen dafür günstig sind. Bekanntlich kommt eine elektrische Resonnanz nicht zustande, wenn der

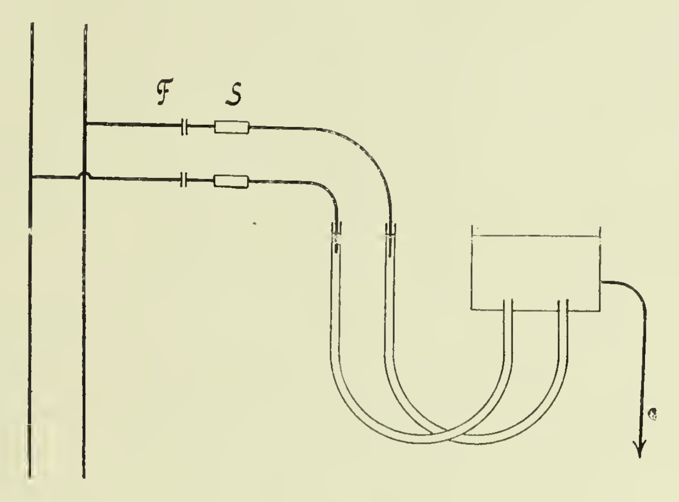


Fig. 12.

Leitungswiderstand sehr gross ist. Das ist auch hier der Fall. Wenn man statt des Wassers eine zähere Flüssigkeit, etwa Oel, einfüllt, so strömt es in das Rohr ohne eine Schwingung auszuführen, weil der innere Reibungswiderstand des Oeles zu gross ist. Eine elektrische Schwingung kommt auch dann nicht zustande, wenn die Kapazität oder die Selbstinduktion sehr gross ist. Das kann auch hier demonstriert werden, wenn man die Kapazität des Rohres *B* sehr gross wählt. Das Wasser strömt dann ebenfalls ohne Schwingungen über; oder wenn ich den Schlauch drossele, so kommt ebenfalls keine Schwingung zustande. Man kann das Beispiel, wenn man will, so weit treiben, dass auch der Spannungsabfall an der Maschine beim Einschalten des Netzes ihr Analogon findet. Denn beim Oeffnen des Hahnes *D* findet auch eine Senkung des Flüssigkeitsniveaus im Gefässe statt u. s. w.

Gegen derartige Spannungserhöhungen in Leitungsnetzen will man sich natürlich ebenfalls möglichst schützen. Da aber diese Ueberspannungen niemals so gross werden als die atmosphärischen, so sind die gewöhnlichen Schutzvorrichtungen nicht empfindlich genug, oder man müsste ihre Funkenstrecken wesentlich kürzer einstellen. Dann sind aber auch die der Entladung nachfolgenden Kurzschlüsse viel häufiger und heftiger. Daher wurden

von der Allgemeinen Elektricitäts-Gesellschaft andere Vorrichtungen ausgeführt, welche im wesentlichen aus einer verstellbaren Funkenstrecke und einem in die Erdleitung eingeschalteten induktionsfreien Widerstande bestehen. Fig. 11 zeigt dies schematisch. Man befindet sich hierbei gegenüber der Blitzschutzvorrichtung in der angenehmen Lage, dass keine grösseren Elektricitätsmengen auf einmal zur Erde abgeleitet werden müssen. Denn die aus elektrischer Resonnanz hervorgehenden Spannungen fallen sofort beträchtlich ab, wenn eine Funkenentladung stattfindet. Da es sich also nur um die Ableitung kleinerer Elektricitätsmengen handelt, so kann man in die Erdleitungen einen so beträchtlichen induktionsfreien Widerstand einschalten, dass das Zustandekommen eines Lichtbogens unmöglich ist, andererseits aber doch noch so viel Elektricität durchströmen kann, dass die Resonnanzwirkung aufgehoben

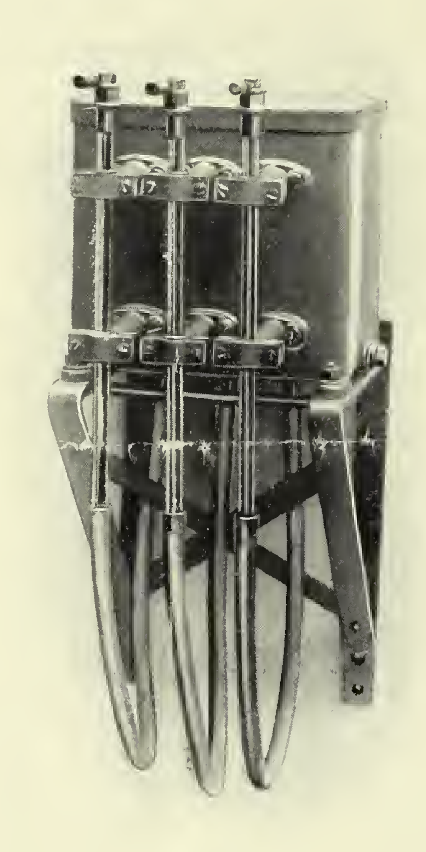


Fig. 13.

wird. Der Widerstand besteht entweder aus röhrenförmigen Glühlampen von ca. 40 cm Länge oder aus einem Wasserwiderstand. Die Glühlampen sind für ca. 150 Volt und 1 Ampere eingerichtet. Man hat also entsprechend der Netzspannung so viel Lampen hintereinander zu schalten, dass normal nicht mehr als 150 Volt auf eine entfallen. Da sich der Kohlenfaden ausdehnt, wenn er ins Glühen kommt, so ist er an einem Ende der Röhre an einer Spiralfeder befestigt, welche ihn spannt. Als Stromzuführung dient hier ein dünnes Kupferband, welches dieser Spiralfeder parallel geschaltet ist, um die Selbstinduktion zu vermeiden. Da die Glühlampen leicht dem Verderben ausgesetzt sind, wenn zu hohe Spannungen auftreten, so ist es zweckmässig, einen Schalter anzuwenden, mittels welchem die Lampen an das Netz geschlossen werden können, um sich so beliebig oft überzeugen zu können, ob sie noch unverletzt sind oder nicht. Dauerhafter ist ein Wasserwiderstand, der in Fig. 12 für zwei Leitungen schematisch dargestellt ist. Von den Funkenstrecken *F* gehen

Elektroden zu Gummischläuchen, welche in den Boden eines metallenen Wasserbehälters einmünden. Dieser ist so hoch mit Wasser zu füllen, dass die Elektroden an den Schlauchenden noch reichlich ins Wasser eintauchen. Das in den Schläuchen befindliche Wasser stellt demnach eine gewisse Grösse des in die Erdleitung eingeschalteten Widerstandes vor. Fig. 13 zeigt die Abbildung eines solchen Wasserbehälters samt 3 Schläuchen für ein Drehstromnetz. Die Länge der Schläuche ist der Netzspannung bezw. dem Leitungsvermögen des zur Verfügung stehenden Wassers anzupassen. Durch Ausprobieren kann man die Vorrichtung so einstellen, dass bei einer gewissen Ueberspannung bei F Funken übergehen, welche aber infolge des grossen Widerstandes keine Lichtbögen zur Folge haben können. Es ist klar, dass diese Vorrichtung nicht nur zur Beseitigung von Resonnanzen, sondern auch zur Ableitung jener atmosphärischen Ladungen dient, welche nicht plötzlich entstehen (Rückschläge), sondern sich allmählich im Netz ausbilden. Sie bewirken, dass solche Ladungen überhaupt garnicht bis zu jener Höhe anwachsen können, bei welcher die weniger empfindlichen Blitzschutzvorrichtungen erst in Funktion treten können. Natürlich müssen diese Wasserwiderstände von Zeit zu Zeit besichtigt und nachgefüllt werden. Das hat keinerlei Gefahr, wenn sich der Betreffende, der dies vornimmt, mit der Erdleitung verbindet oder sich isoliert aufstellt und ein isolierendes Gefäss zum Nachfüllen verwendet. Man wird gegen diese Wasserwiderstände vielleicht einwenden, dass ja doch einmal eine wesentlich höhere Spannung auftreten kann, für welche selbst der grosse Widerstand nicht mehr ausreichend ist, um kleine Explosionen an den Elektroden zu verhüten. Darauf ist zu erwidern, dass keinesfalls mehr geschehen kann, als dass das Wasser herausspritzt oder schlimmstenfalls die Schläuche zerrissen werden. Gegen alle Möglichkeiten kann man sich aber dadurch schützen, dass man auch noch Schmelzsicherungen S zwischen Funkenstrecke und Widerstand einschaltet.

